

довища на підприємствах України: Теорія, методологія, практика. – К., 2001. – 246 с.

9.Савчук Н.В. Фінансово-економічний механізм екологізації виробничої діяльності: Автореф. дис... канд. екон. наук: 08.04.01 / НАН України; Інститут регіональних досліджень. – Львів, 2005. – 20 с.

10.Хвесик М.А. Основні пріоритети державної політики в галузі раціонального використання, охорони та відтворення водних ресурсів України // Регіональна економіка. – 2002. – №1. – С.184-197.

11.Шепеля М.О. Вплив екологізації землеробства на родючість ґрунту та продуктивність ріллі в зерно-трав'яній ланці сівозміни в умовах Правобережного Лісостепу України: Автореф. дис... канд. с.-г. наук: 06.01.01 / Національний аграрний ун-т. – К., 2006. – 20 с.

Отримано 28.09.2006

УДК 628.336

С.В.ТОЛСТЫХ, А.А.ВАСЛИВАНОВ

НПФ «Экотон», г.Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Рассматривается проблема утилизации органических отходов коммунального хозяйства и животноводческих комплексов. Предлагается биогазовая технология утилизации с получением ценных органических удобрений, биогаза и электроэнергии.

В настоящее время утилизация осадка городских сточных вод, жидкого навоза и помета животноводческих комплексов и птицефабрик является одной из самых злободневных проблем в сельском и коммунальном хозяйстве Украины и странах бывшего СССР. Только на Украине разной степени обработки необходимо подвергать более 500 млн. м³ жидких органических отходов в год. Но далеко не на каждом животноводческом комплексе или птицефабрике имеются современные системы утилизации отходов. На момент интенсивного строительства ОСК и животноводческих комплексов, к системам обработки и утилизации осадков предъявлялись давно устаревшие и не отвечающие нынешним экологическим нормам требования. Большинство животноводческих комплексов введено в эксплуатацию более 25-30 лет назад, с тех пор оборудование очистных сооружений ни разу не менялось, хотя его необходимо капитально модернизировать каждые 10-15 лет по причине быстрого технического и морального износа. На многих комплексах вообще отсутствуют очистные сооружения сточных вод. Утилизируются отходы, в основном, двумя способами [1]. Первый – стоки сначала направляются в лагуны для обезвреживания, а затем на поля в виде удобрений. Вторым способом является направление стоков животноводческих комплексов на городские очистные сооружения, что приводит к неудовлетворительной работе последних. Но и

в процессе очистки на городских очистных сооружениях образуются осадки (около 0,5-2% от объема сточных вод). В большинстве случаев осадки сточных вод (ОСВ) складываются на территории (или возле) очистных сооружений канализации, что приводит к загрязнению окружающей среды. Выделяемые ОСВ вредные газы могут превышать предельно допустимые концентрации в несколько раз, дурно пахнут. Их запах равен 4-5 баллам по шкале органолептических показателей. В состав ОСВ входят вещества, обладающие общетоксическими, токсикогенетическими, эмбриотоксическими и другими свойствами. Поступая в подземные и грунтовые воды, водная вытяжка из ОСВ, придает им цветность, привкусы, что негативно отражается на качестве таких вод [2-5].

Обезвреживание осадков сточных вод и стоков животноводческих предприятий и птицефабрик превратилось в серьезную проблему в масштабе всей страны, и если решение этой проблемы не будет найдено в ближайшее время, то это может перерасти в серьезную экологическую катастрофу, последствия которой могут быть весьма плачевными.

Одно из решений этой проблемы уже долгие годы практикуют в странах Европы, Америки и других странах. Речь идет о микробиологической технологии обработки органических отходов в так называемых биогазовых установках (рис.1), основой которых является метантенк – герметизированный реактор-смеситель, предназначенный как для очистки стоков или стабилизации осадков, так и для генерации метана, ценного газа с большой теплотворной способностью.

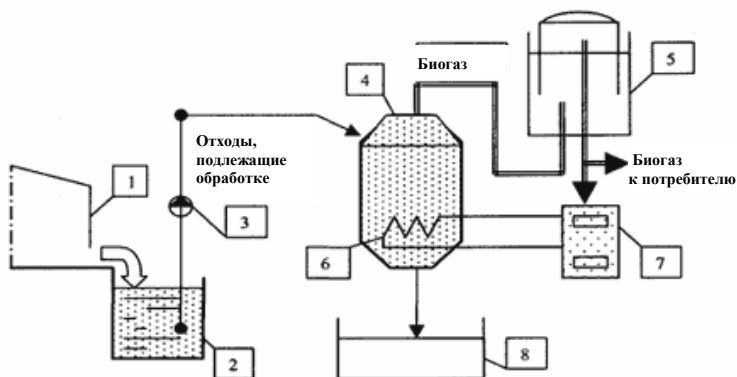


Рис.1 – Обобщенная схема биогазовой установки:

- 1 – источник отходов; 2 – приемник для отходов ; 3 – насос; 4 – метантенк;
5 – газгольдер; 6 – теплообменник; 7 – котел; 8 – хранилище удобрения.

Сегодня в Европе сосредоточено 44% мирового количества биогазовых установок, в Северной Америке – 14%. Работающие в странах ЕС промышленные биогазовые установки по признаку происхождения используемых отходов можно разделить на несколько групп. Основными являются следующие три: агропищевая группа (67,5%), группа непищевой промышленности (15%) и непромышленная группа (9,6%).

В Италии с конца 80-х годов начали внедрять новое поколение биогазовых установок, ориентированных на переработку отходов свиноферм. На 1998 г. было построено 5 централизованных биогазовых установок и около 50 фермерских.

В Дании на октябрь 1999 г. действовало 20 централизованных биогазовых установок, введенных в действие в период 1984-1998 гг.

В Германии работает около 400 сельскохозяйственных биогазовых установок с объемом метантенка 600-800 м³. С 1995 по 1998 гг. было построено 8 централизованных биогазовых заводов. На начало 1998 г. суммарная емкость всех работающих метантенков составляла 190 тыс. м³. По оценкам экспертов, в Германии существует необходимость в строительстве по меньшей мере 220 тыс. биогазовых установок, из которых 86% должны перерабатывать навоз. При осуществлении этих планов доля биогаза может достичь 11% общего объема потребления газа в Германии.

В Австрии до 1997 г. действовали 46 преимущественно фермерского типа биогазовых установок. В 1997 г. было введено в действие 10 установок фермерского типа и 5 крупных. Предполагается увеличить количество биогазовых установок до 150. В Австрии нет национальной программы поддержки строительства биогазовых установок, однако их строительство поддерживают Министерства сельского хозяйства и экологии. Финансовую поддержку оказывают федеральные сельскохозяйственные организации и банки.

В 2010 г. в ЕС намечено получить дополнительной энергии за счет использования биомассы 90 млн. т нефтяного эквивалента (н.э.), из них 15 млн. т н.э. – за счет использования биогазовых установок.

В области биогазовой индустрии, как и во многих областях научно-технического прогресса, страны бывшего СССР наработали богатый потенциал, который так и не был реализован. В советские времена главным, да и единственным в Союзе центром, где разрабатывались конструкции отечественных биогазовых установок (а также других машин для переработки отходов аграрного производства) был Запорожский конструкторско-технологический институт сельскохозяйственного машиностроения (КТИСМ) [1].

Первые попытки создания биогазовых установок в СССР относя-

тся к 50-м годам минувшего столетия, вторые – к концу 80-х – началу 90-х. Но и в первый, и во второй раз из-за большой разницы в себестоимости природного и синтетического продуктов (биогаз получался в пять раз дороже) работы дальше опытных образцов не продвинулись. Еще одной серьезной причиной по которой биогазовые установки не находили массового применения, являлось отсутствие экономических стимулов в выработке биогаза. Так, по расчетам, при отсутствии дотаций от государства срок окупаемости по газу составлял для малых и средних фермерских хозяйств около 20-25 лет. Однако, ввиду ухудшения экологического состояния нашей страны в целом, ужесточения санитарных требований к выбросам парниковых газов (Киотский протокол), утилизации образующихся органических отходов различных производств, и подорожания природного газа, вопрос о возрождении метода микробиологической обработки вновь стал актуальным [7, 8].

В настоящее время создана Украинская биоэнергетическая ассоциация (УБА). В состоявшемся 16 января 2001 г. учредительном собрании приняли участие представители проектных, промышленных, сельскохозяйственных предприятий, “новых” структур из 19 регионов Украины, а также Академии наук и Минагрополитики. Инициировала собрание группа энтузиастов во главе с В. Масличем – бывшим конструктором КТИСМ, возглавлявшим в свое время направление биоконверсии органических отходов. В.Маслич, избранный президентом УБА, считает, что прежде всего следует создать сеть региональных отделений в каждой области, Киеве и Севастополе, которые в свою очередь создадут “ячейки” в городах, районах и сельских населенных пунктах, чтобы идеи пропаганды методов переработки биомассы путем сбраживания проникли в массы. По некоторым оценкам, в Украине может быть сооружено 2903 биогазовых установки со средним объемом метантенка 1000 м³, включая 295 установок на свинофермах, 130 – на птицефабриках и 2478 – на фермах КРС и предприятиях пищевой промышленности [14].

Финансовые вливания в биогазовую отрасль Украины пока происходят только из-за границы. Вот несколько тому примеров. УБА получила подтверждение от своих шведских партнеров о готовности выделить оборудование на сумму 2 млн. шведских крон в качестве безвозмездной технической помощи.

С участием германского инвестора восстанавливается свиноферма в Стрыйском районе Львовской области: ферма будет оборудована биогазовой установкой.

Биогазовая технология – радикальный способ обезвреживания и переработки разнообразных органических отходов растительного и

животного происхождения, включая экскременты животных и человека, с одновременным получением высококалорийного газообразного топлива – биогаза (примерный состав биогаза образовавшегося при анаэробном сбраживании навозных стоков приведен в табл.1), электроэнергии и высокоэффективных экологически чистых органических удобрений [9].

Таблица 1 – Примерный состав и свойства биогаза

| Показатель | CH ₄ | CO ₂ | H ₂ | H ₂ S | Смесь 60% CH ₄ + 40%CO ₂ |
|---|-----------------|-----------------|----------------|------------------|--|
| Объемная доля, % | 55-70 | 27-44 | 1 | 3 | 100 |
| Объемная теплота сгорания, МДж/м ³ | 35,8 | 10,8 | 22,8 | - | 21,5 |
| Температура воспламенения, °С | 650-750 | - | 585 | - | 650-750 |

В основе микробиологической технологии лежат сложные природные процессы биологического разложения навоза, птичьего помета, осадка сточных вод или других органических веществ в анаэробных условиях (без доступа воздуха). При этом под воздействием особой группы анаэробных бактерий, происходят процессы сопровождающиеся минерализацией азотсодержащих, фосфорсодержащих и калийсодержащих органических соединений с получением минеральных форм азота, фосфора и калия. Кроме того, во время сбраживания происходит полное уничтожение патогенной микрофлоры, яиц гельминтов, семян сорняков, всегда содержащихся в навозе или помете, специфических фекальных запахов, нитратов и нитритов, т.е. достигается актуальный на сегодняшний день экологический эффект.

При анаэробном преобразовании органических субстратов в метан под воздействием микроорганизмов (бактерии, анаэробный ил) должны быть последовательно реализованы четыре стадии разложения (рис.1). Отдельные группы органических загрязнений (углеводы, протеины, липиды, жиры) в процессе гидролиза преобразуются сначала в соответствующие мономеры (сахара, аминокислоты, жирные кислоты). Далее эти мономеры в ходе ферментативного разложения (ацидогенеза) преобразуются в короткоцепочные органические кислоты, спирты и альдегиды, которые затем окисляются в уксусную кислоту, что связано с получением водорода. Только после этого доходит очередь до образования метана на этапе метаногенеза. В качестве побочного продукта наряду с метаном образуется также и углекислый газ (CO₂).

Метановое брожение включает две фазы: кислотную и щелочную. Все процессы преобразования тесно взаимосвязаны друг с другом и должны протекать в емкости анаэробного реактора в строго установленном порядке, так как любое нарушение одного из промежуточных

этапов приводит к нарушению всего процесса [10]. Поэтому требуется точное проектирование очистных сооружений и их настройка на соответствующий вид органических отходов.

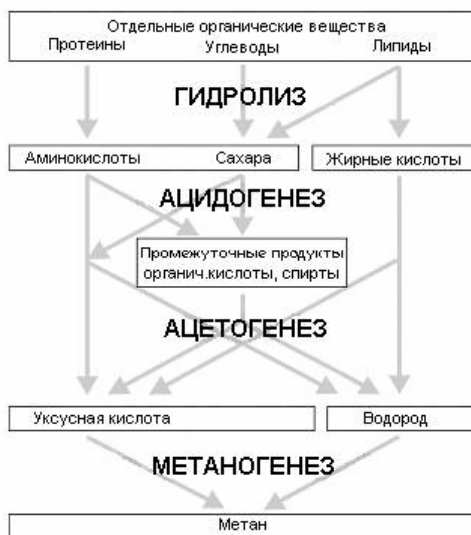


Рис.2 – Этапы анаэробного преобразования органический веществ

В зависимости от того, какой класс органических веществ преобладает в органических отходах, меняется состав биогаза и доля метана в нем (табл.2). Углеводы в большинстве случаев разлагаются легко, однако они дают сравнительно меньшую долю метана. При разложении жиров и масел образуется большее количество биогаза с высоким содержанием в нем метана, однако, разлагаются они очень медленно. Кроме того, жирные кислоты, образующиеся как побочные продукты при разложении жиров и масел, могут препятствовать всему процессу разложения [11].

Таблица 2 – Выход биогаза и доля метана в нем в зависимости от класса веществ

| Класс веществ | Выход биогаза, л/г субстрат | Доля метана, % |
|---------------|-----------------------------|----------------|
| Углеводы | 0,83 | 50 |
| Белки | 0,72 | 71 |
| Жиры/Масла | 1,43 | 70 |

Весь ход сбраживания лимитируется возможностями и состоянием популяции метанобразующих бактерий, чрезвычайно чувствительных к температурным условиям и имеющих малую скорость роста.

Известно несколько десятков микроорганизмов, которые разлагают сложные органические вещества на простые жирные кислоты, и свыше десятка, которые перерабатывают эти кислоты на метан и углекислый газ.

Метанобразующие бактерии относятся к разным популяциям: термофилов и мезофилов. Как следует из рис.3, оптимальные температуры субстрата для термофилов около +53 °С, мезофилов +32 °С. Применяется также популяция термофилов, для которой оптимальной считается температура +65 °С (экстратермофилы). Даже небольшое отклонение температуры от оптимума существенно снижает скорость сбраживания. Немаловажными факторами, влияющими на скорость сбраживания и выход биогаза, являются также влажность загружаемого в метантенк субстрата (оптимальным считается значение 90-94%) и химический состав (например, наличие в сбраживаемой массе СПАВ, антибиотиков и т.п. резко снижает выход биогаза).

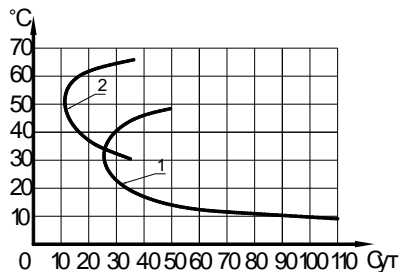


Рис.3 – Влияние температуры на продолжительность сбраживания:
1 – мезофильное сбраживание; 2 – термофильное сбраживание.

Сравнение мезофильного и термофильного режимов сбраживания органического вещества показывает, что в термофильных условиях значительно интенсивнее и глубже происходит гидролиз твердого вещества, но сброженный субстрат имеет очень большое удельное сопротивление и плохо обезвоживается. Например, в биогазовых установках для переработки отходов сельскохозяйственного производства применяют в основном обычную одноступенчатую схему (мезофильное или термофильное сбраживание), а для промышленных установок возможно и применение двухступенчатой схемы сбраживания субстрата (сначала термофильное, а затем мезофильное или сначала экстратермофильное, а затем мезофильное). Двухступенчатое сбраживание позволяет увеличить распад беззольного вещества субстрата по сравнению с мезофильным сбраживанием в 1,2-1,6 раза и решить пробле-

му с плохим обезвоживанием сброженного субстрата. Но в то же время применение термофильного режима сбраживания в условиях нашего климата не оправдывает себя с экономической точки зрения, за счет больших затрат на обогрев метантенков, а двухступенчатая применяется редко в виду сложности управления процессом.

В процессе брожения жидкость в резервуаре имеет тенденцию к разделению на три фракции. Верхняя – корка, образованная из крупных частиц, увлекаемых поднимающимися пузырьками газа, через некоторое время может стать достаточно твердой и будет мешать выделению биогаза. В средней части метантенка скапливается жидкость, а нижняя, грязеобразная фракция выпадает в осадок.

Бактерии наиболее активны в средней зоне. Поэтому содержимое резервуара необходимо периодически перемешивать – хотя бы один раз в сутки, а желательно – до шести раз. Перемешивание может осуществляться с помощью механических приспособлений, гидравлическими средствами (рециркуляция под действием насоса), под напором пневматической системы (частичная рециркуляция биогаза) или с помощью различных методов самоперемешивания.

Кроме биогаза, результатом процесса метанового брожения отходов является сброженный осадок, который может быть использован как органическое удобрение или кормовая добавка для скота. К примеру, анаэробно сброженный навоз по сравнению со сброженным в аэробных условиях повышает на 10-30% (по некоторым данным даже на 50-100%) урожайность сельскохозяйственных культур. Как было сказано выше, объясняется это тем, что при анаэробном сбраживании происходит минерализация и связывание азота, а также перевод калия и фосфора в легко усваиваемые формы, улучшающие свойства получаемых удобрений, кроме того, в реакторе при определенных условиях могут синтезироваться, так называемые, ауксины – вещества, способствующие ускоренному развитию и росту растений.

В табл.3 показано сравнение содержания азота и фосфора в сырых и сброженных экскрементах.

Таблица 3 – Сравнение сырых и сброженных экскрементов

| Количество экскрементов | Использованные экскременты | | | |
|-------------------------|----------------------------|---------|------------|-------|
| | сырые | | сброженные | |
| 18 т | азот | 27,3 кг | азот | 60 кг |
| | фосфор | 3,6 кг | фосфор | 16 кг |

Органические удобрения, полученные в результате метаногенеза, проверены Украинской лабораторией качества и безопасности продукции АПК [13].

Наряду с производством тепла при сжигании биогаза и производством органических удобрений, есть возможность производства электрической энергии, которая может быть использована для собственных нужд объекта или может реализовываться в общую распределительную сеть. Производство электроэнергии для собственных нужд значительно дешевле по сравнению с покупкой ее из сети, а в случае ее продажи, можно воспользоваться выгодными тарифами для электроэнергии, произведенной из альтернативных источников энергии. Поскольку биогаз является сопроводительным продуктом при переработке органических отходов, затраты по эксплуатации установки будут связаны только с отчислениями на оборудование и на сервисное обслуживание. Доходы будут составлять как сэкономленные средства за тепло и электроэнергию, так и средства за реализацию удобрений и электроэнергии потребителям.

В заключение к вышесказанному можно сделать выводы, что использование в нашей стране биогазовых установок различных масштабов позволит одновременно решить пять важнейших проблем:

- экологическую (полная утилизация навоза и осадка коммунальных сточных вод);
- энергетическую (получение и утилизация биогаза и электроэнергии);
- агрохимическую (получение удобрений);
- социальную (улучшение условий труда и создание новых рабочих мест);
- экономическую (снижение платежей и получение прибыли от реализации удобрений и электроэнергии).

1. Михеев В., Лукьянов В. Остатки не сладки // Агробизнес. – 2006. – №4. – С.15-18.

2. Гуцулак В.Д. Биоконверсия органических отходов для получения биогумуса, биогаза, биологических веществ и охрана окружающей среды // Защита растений. – 1992. – №1. – С.61.

3. Игонин А.М. Переработка навоза и другой органики с помощью дождевых червей // Земледелие. – 1989. – №12. – С.52-54.

4. Ревель П., Ревель Ч. Среда нашего обитания. В 4-х кн. Кн. 2 Загрязнения воды и воздуха. – М.: Мир, 1995. – 295 с.

5. Стадник Б.Г. Проблема очистки осадка сточных вод города Москвы // Химия в сельском хозяйстве. – 1994. – №4. – С.21-22.

6. Родина Е.М., Ильясов Ш.А., Абайханова З.А. Использование эмиссий метана из отходов для получения биогаза // Вестник КРСУ. – 2003. – №6. – С.25-27.

7. Статьи первой и второй в Украине международной конференции «Когенерация в промышленности и коммунальной энергетике» 18-20 октября 2004 г., Киев, Украина. Диск №1.

8. Статьи второй в Украине международной конференции «Энергия из биомассы» 20-22 сентября 2004 г., Киев, Украина. Диск №1,2

9.Иорданский А.Что мы получаем со свинофермы? // Химия и жизнь. – 1988. – №1. – С.15-18.

10.Гюнтер Л.И. Метантенки 1981. С.52-53.

11.Markus Engelhart. Анаэробные биологические методы очистки моносточных вод // <http://www.enviro-chemie.ru/public/anaerob.htm>.

12.Материалы сайта ОФ «Флюид» Использование метанового эффлюэнта <http://www.fluid-biogas.com/biogas/effluent.html>.

13. Дубровин В.А., Таргоня В.С Ресурсы для производства биогаза и удобрений в аграрной сфере // Электронная версия материалов 2-й Междунар. конф. "Сотрудничество для решения проблемы отходов" <http://www.waste.com.ua/cooperation/2005/theses/dubrovin.html>.

14.Материалы сайта НПО "Агентства по возобновляемой энергетике" <http://www.rea.org.ua/index.php?page=sources&sub=2&lang=ru>.

Получено 23.10.2006

УДК 531.3 : 681.51

Н.А.ШУЛЬГА, А.А.БОБУХ, кандидаты техн. наук, Д.А.КОВАЛЕВ

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНЫМ ОБЪЕКТОМ ДЛЯ АДАПТАЦИИ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Рассматриваются вопросы исследования динамики замкнутой системы автоматического управления реальным объектом для адаптации моделей управления путем изменения одного из параметров системы.

В условиях эксплуатации тепловые пункты с потребителями являются вероятностной системой и точно учесть влияние на тепловой баланс здания всех факторов затруднительно.

Анализ результатов исследований [1-4] позволяет утверждать, что давление теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления в интегрированном виде несет определенную информацию, поэтому может быть критерием оценки теплового режима здания и параметром для адаптации моделей управления [3, 4].

Для исследования динамики замкнутой системы автоматического управления давлением теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления необходимо иметь передаточные функции реального объекта управления $W_o(p)$ и автоматического регулятора – $W_p(p)$ [3]. Для получения передаточной функции реального объекта управления давлением теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления, т.е. фактически разомкнутой системы автоматического управления (САУ) этим давлением в виде:

$$W_o(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\alpha t}}{T_0 \cdot p + 1}, \quad (1)$$